

Clean Room이란 무엇인가?

하이테크 산업의 生産工程에 必須

— 最近의 話題와 今後의 研究課題

徐石清

(韓國機械연구소 책임연구원)

공기조화 설비와 냉동장치는 학문상으로는 기계공학의 한 분야이며, 열역학, 유체역학, 열전달을 바탕으로 여기에 자동제어, 위생공학, 화학, 경영등 여러분야의 학문과 건축물의 구조에 이르기까지 알맞고, 소기의 성능을 효율적으로 이루게하는 이른바 “종합공학”이라는 특수성을 지니고 있다고 볼 수 있다.

냉동공조산업을 그 발전성을 근거로 다음 4가지 요소로 구분하면 ① 생활 밀착형 산업 ② 산업지원형산업 ③ 국제발전형산업 ④ 하이테크형 산업으로 나눌 수 있다.

냉동공조기술중 생활밀착형은 최근에 초저온, Electronics, Bio Tech. 등 High Tech. 산업을 지원하는데 없어서는 안될 설비로 등장하여 그 용도가 확실했다.

한편 공기조화의 영역은 다양화해져서 Clean Room, Bio Clean Room, 생물환경실, 전천후 시험실, 원자력시설, 교통기관, 터널 등에 공기조화 기술이 적용되고 있으며, 최근 Clean Room 산업은 초청정 공간을 만들어 내는 것으로 급속한 성장을 계속하고 있으며, 여러 분야에서 그 필요성이 높아지고 있다.

한국의 냉동공조기계 공업은 1970년 이래 정부의 기계류 국산화 정책과 국내 관련 수요산업의 급격한 발전에 힘입어 1971년부터 1980년까지 10년동안 선진기술과 자본을 도입하여 급속히 발전되었다고 할 수 있다.

그러나 현대는 과학산업(Science-Based Industry), 곧 첨단기술산업(High-Technology Industry)시대로서, 노동집약·기능집약에서 기술집약·두뇌집약으로 변천되어, 새로운 지식과 원리를 발견하고 기술혁신을 주도하는 기초과학 및 기초공학을 근간으로 하여 한계돌파기술(Breakthrough Technology) 곧 극한기술에 역점을 두고 있다.

첨단기술산업의 발전은 미세가공기술이나 극한기술에 의존한다고 보아도 과언이 아닐 것이다. 이 미세가공기술이나 극한기술을 보조하는 주변 기술로서는 고도의 온·습도제어로서 극저온기술, 초고온기술, 정전대책, 초전도, 초고압기술, 고진

공기술, 무중력기술 그리고 무진화·무균화 및 미진동제어의 초정정기술 등을 들 수 있다.

요즘은 고도 첨단기술의 물결은 우리나라 국산업계를 확실히 급진적인 위세로 변모시키고 있다. 이러한 첨단기술은 초정밀화, 고도화, 무균화, 고순도화합과 동시에 그 환경의 Clean Room화가 요구되고 있고, 생명과학, 전자, 메카트로닉스 기술, 식품, 원자력, 정밀기기, 광학기기, 약품, 병원, 유전자공학, 항공우주산업 등 신소재 분야에 이르기까지 급속한 기술혁신이 이루어지고 있으며 여러분야에서 공기청정을 중심으로하는 Contamination Control이 필요하게 되었고, 앞으로의 첨단기술분야의 발전은 청정화 기술의 고도화에 달려 있다고 말할 수 있다.

#### ◇Clean Room

Clean Room은 부유먼지, 유해가스, 미생물 등의 오염물질의 존재를 어떤 정해진 규제기준이하로 제어하는 청정공간으로, 실내의 기류속도, 압력, 온·습도 등이 어떤 범위내로 제어되는 특수 건물이다.

Clean Room은 주로 먼지등 미립자를 대상으로 하는 공업용 Clean Room(ICR)과 세균이나 곰팡이등의 생물입자를 중시하는 Bio Clean Room (BCR)이 있다.

대상분야로서는 대별해서 ① 반도체산업, 우주항공, 전자·정밀산업 ② 제약·식품등 GMP 대상산업 ③ 병원의 무균수술실, 병실 등 ④ 기타 동물실험(GLP), Bio-Hazard 대책 등 생명공학과 관련된 안전성에 관한 것이 있다.

##### ● Industrial Clean Room(ICR)

일반적으로 ICR은 주로 미립자를 대상으로하는 정밀기계공업, 반도체공업, 전자공업, 필름공업, 인쇄공업 등에 설치하는 것으로, 이들 공업분야에서는 정밀화, 미소화, 고품질화 및 고신뢰성이 요구되어 실내의 부유 미립자가 적어지도록 되어 있다.

ICR의 지표로서는 일반적으로 미국 연방규격

209a가 적용된다. 이 규격은 공기 중의 부유입자를 0.5미크론 이상의 입경과 5.0미크론 이상의 입경이 누적입자에 따라 Clean Room의 Class를 규정하고 있다.

● 주로 전자산업에 응용 : Tr→IC→LSI→VLSI

● 특히 환경제어분야 : Class 100→10→1→0.1

● HEPA 0.3 $\mu$ m 99.97%→0.1 $\mu$ m 99.999%까지, 최근에는 이런 것을 ULPA라고 하고있다. 한국, 일본, 미국 등 여러 다른 나라와 마찬가지로 고정밀성은 같다고 보겠다.

● 산업용 C/R은 먼지를 여하히 제거하느냐가 중요하다고 보겠으나, 한편 위생적인 면에 대해서는 문제가 된다. 곧 식품가공분야, 제약분야, 의료분야 등에 대해 위생문제가 크게 야기되고 있다.

#### ◇최근 화제와 연구과제

여기에서 언급하고자 하는 것은 IES 32년차에서 발표된 “입자오염의 문제”와 “앞으로의 연구과제” 및 Clean Room 공기청정도 등급에 관한 “연방규격 209B의 개정안의 근거”에 대하여 수집된 해외 정보자료를 근거로 기술하고자 한다.

Aerosol의 연구자들이 가장 많은 흥미를 가지고 있었던 것은 입자에 의한 오염에 관한 “오염제어”로서 다음 14개의 Section으로 분류되어 토론되었다. ① 오염에 관한 연구센터의 역할 ② 정전기의 방전과 이온의 생성 ③ Robot와 Wafer의 수송 ④ 액체와 화학물질 ⑤ 제조장치내의 입자의 제어 ⑥ 액중 입자 ⑦ 입자의 검출법 ⑧ 초정정가스의 입자관련기술 ⑨ 미세환경과 IC제조 관련의 문제 ⑩ 표면오염 ⑪ Clean Room의 설계 ⑫ 의복과 포복 ⑬ 여과와 기류의 유동(흐름) ⑭ 제약관련

##### ● 연구동향 및 앞으로의 과제

각국의 반도체 제품이 불량율이 적고 제품 코스트가 안정된 것은 제작공정이나 제조장치, 검사장치의 우수함은 물론 Clean Technology를 포함한 냉동공조기술 수준이 높기 때문이라고 미국

뷰렛트사의 R.W.Anderson씨가 1980년 3월 워싱턴에서 개최된 “미·일 반도체기술 관계자 세미나” 석상에서 발표했다.

하이테크 분야의 급속한 발전은 산업구조에도 커다란 변화를 주었으며, 냉동 공조기술도 그 응용면이 다양화 해졌다.

Clean Room에 대해서는 공업용이 상당한 주류를 점하고 있으며, 전자공업이나 정밀공업의 하이테크로 발전되어 종래의 Clean Room 규격에서는 정의하지 않던 “Super Clean Room”의 수요가 급속히 증가되고 있다. 또한 청정도나 온·습도에 대한 정도(Accuracy)의 High Grade화로 ① 정전대책 ② 진동대책 ③ Filter기술 ④ 기류분포 ⑤ 에너지절약 ⑥ 라인변경에 대한 대응성 ⑦ 설비의 코스트절감 ⑧ 공간의 유효이용 ⑨ 전자차폐 등도 앞으로의 커다란 테마로서 연구개발의 대상이 되고 있다.

한편, 바이오기술도 연구단계로 부터 공업화단계로 접어들어 의약품에서 식품, 농업, 화학, 의학 등 여러분야에서 청정공간의 요구가 급증하고 있다. 또한 미생물 제거를 목적으로 한 방법으로는 자외선 살균 등이나 멸균설비를 설계하는 케이스도 많다.

최근 반도체시장의 혼미가 보도되면서 초 LSI 개발경쟁등에 의한 설비 투자는 Clean Room 산업의 신장을 가져왔고 초 LSI 256 Kbit로 부터 1 Mbit급, 그리고 4 Mbit급의 고집적화경쟁의 영향에 따라 그 추세는 앞으로도 계속될 것이다.

하이테크세제로서 일본에서는 하이테크 관련 기술로써 Electronics, 신소재, Bio Technology, 로 보트, 첨단가공, 극한 환경기술 등에 사용하는 연구설비를 취득할 때에는 취득액의 7%가 세제공제되며, 연구용 Clean Room이나 절전효율 연구용 Clean Bench 등이 대상으로 되고 있다. 이것은 세제면에서 적극 우대해 줌으로써 민간기업이 하이테크분야의 연구개발에 적극적으로 참여할 수 있도록 동기조성을 하기 위함이라고 보겠다.

특히 일본의 경우 1965년대 후반부터 하이테크기업이 꽃피기 시작하여 반도체분야에서는 생산공정에 불가결한 Clean Room의 성능에너지가 제

품의 저코스트화에 직접적으로 중요한 역할을 담당했다. <그림-1>은 Total Running Cost에서 공조설비가 차지하는 비율을 나타내고 있다.

<그림-1> 10 20 30 40 50 60%

空調設備						
純水設備						
室素設備						
乾燥設備						
水素設備						
酸素設備						

일본 반도체분야의 설비투자액은 Clean Room을 포함해서 대기업 9개사에서 약 22억65백만달러(1983년)이다. 이 수치는 10년전(1974년)보다 약 16배가 증가한 것으로 하이테크 기업의 틈을 나타낸 것이다. <그림-2>를 보면 총 수주액이 약 20억3천만달러에서 8억7천만달러로 전자공업이 42.9%로 틈을 차지하고 있다.

오염원에 대한 것을 중점적으로 기술하면, 하나의 분류로서는 가스 또는 액체의 정화과정에서 제거되지 않은 입자와 그후 포집가능한 입자로 나뉘어 진다.

전자는 액체의 경우에 현존하며 더구나 오염원의 중요한 인자가 되고 있다. 우선 氣相중에서 입자의 여과에 대해서는 이론적으로 상당히 명확하게 되어 있으므로 여과 이론에 기초를 둔 최적설계·조작조건을 찾아보는 것과 물론 실제적인 문제, 예를들면 재료 및 제조과정의 높은 품질관리의 필요성으로 초점이 맞춰지고 있다.

또 하나는 Filter가 극단적으로 고성능화 될수록 그 성능평가가 곤란하게 된다. 이와같이 3가지 관점에서 보고될 수 있다. 특히 흥미깊은 보고서는 서로 다른 재료로 이루어진 여재임에도 불구하고, 각각의 재료의 섬유경이 다름에도 불구하고 굵은(거친)분포가 어떤 경우에는 그 혼합을, 섬유경 분포 등에 의해서 포집율이 크게 좌우되는 것도 여재의 두께나 충전율이 아주적게 변화하는 만큼 포집효율이 크게 좌우되는 것을 이론적으로 지적할 수 있음을 보여주고 있다. 그래

서 0.1 $\mu\text{m}$ 이상의 입자의 Class 10을 달성하기 위해서는 위의 요인이 불과  $\pm 10\%$  변화하는 만큼 Filter 효율이 3정도 변화하는 가능성이 있는 것을 보여 주고 있다.

液相중의 입자제거에 대한 보고는 없었으나 이것은 가스중의 입자제거에 비해 훨씬 곤란하고 연구도 늦어지고 있음을 알 수 있다.

이상은 가스 및 액의 정화단계에서 오염원으로 되는 입자를 아주 제거하는 것에 대한 것이지만, 다음에 이와같이 해서 입자가 제거된 후에 입자가 어떠한 요인으로 들어오는가 하는 화제를 골라보면 다음과 같다.

● 기체상태(氣相中)에서의 오염원

a) 인간의 皮膚중 죽은 세포가 떨어져 나옴(剝離)에 粒子生成: 원래 피부는 화학적으로 안정되어 있기 때문에 이와같이 입자가 물체 표면에 부착하면 溶劑나 酸등으로 세척시켜도 간단히 제거할 수 없다. 더구나 이와같은 입자는 한사람당, 또는 1분간당 10만~50만개(크기는 0.3 $\mu\text{m}$ 이상) 발생한다고 말하고 있다.

Clean Room용의 의복은 이와같이 인체로부터

의 생성입자의 방출을 막음과 동시에 의복자체에서의 발진이 없어야 한다. 안면의 복면 그 의미에서는 중요하며, 여러가지 조건에 대해서 Test 된 결과가 보고되고 있다.

특히 기침이나 재채기를 했을때 엄청난 입자의 발생을 어떻게 외부로 새지않게 하는가에 대한 검토가 되고 있다.

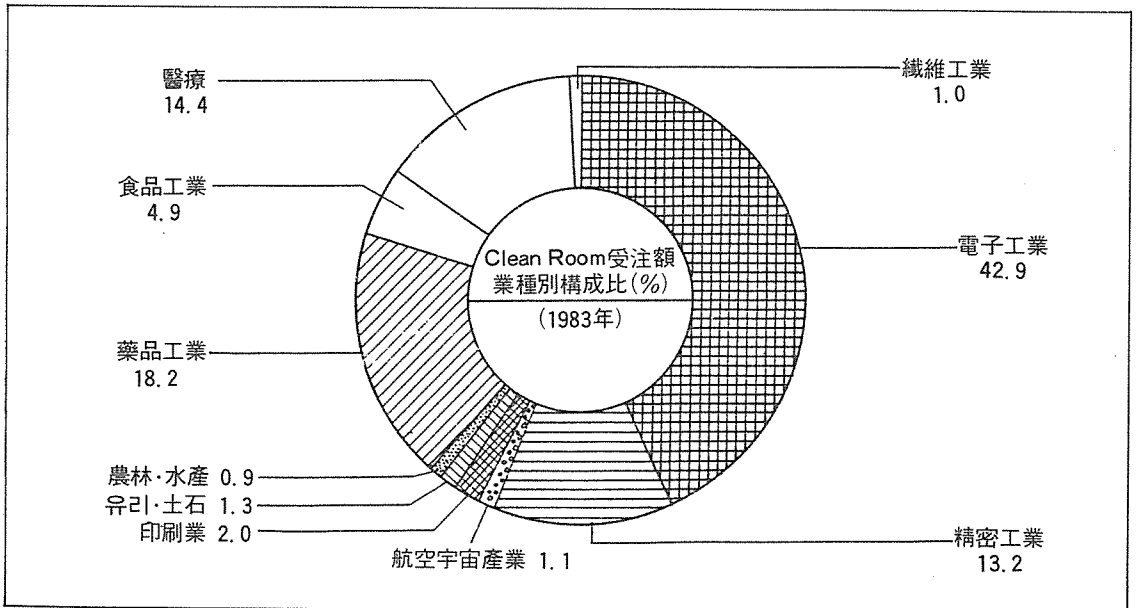
b) 옷감에서의 발진: 천연섬유(셀룰로오스 또는 木綿등) 및 합성섬유(폴리에스테렌이나 나일론 등)에서의 발진특성은 건식 및 습식으로 반복응력을 걸어서 평가되고 있다. 당연히 합성섬유 쪽이 발진이 적고 또한 발진 Test도 합성섬유는 습식으로, 발진이 많은 천연섬유는 건식으로 실시하는 것이 좋은 것이 아니더라고 지적이 되고 있다.

발진이 적은 섬유의 개발은 앞으로 중요한 과제이다.

c) 종이에서의 발진: 종이에서의 발진은 제조나 저장과정에서 입자가 종이표면에 부착된 것의 再飛散과 종이 자체가 기계적인 굴곡등에서 부분적으로 파괴되어 나오는 것으로 나누어진다.

시험방법으로는 질곡시험(Flex Test)에 의해서

〈그림 - 2〉 Clean Room 수주액의 업종별 구성비



통상적으로 수행되고 있으나 초음파진동에 의한 시험법에 대해서도 검토되고 있다. 여러가지의 Clean Room용 종이와 보통 쓰이는 종이 비교 시험되어 결과가 보고되고 있고, 명확하게 종이의 종류에 따라 차이가 인정되고 있다. 그러나 어떤 이유로 차이가 생기는가는 현재까지 명확하게 되어있지 않다.

d) 기타 발진원 : 인간의 보행을 포함한 움직임에 의해서 흐름이 난류로, 그와 동시에 그 사람 주변의 입자, 예를들면 의복에서의 입자나 바닥에서 잡아올리는 입자를 겸하는 장소에 운반하는 과정이 고려되었다.

입자 발생은 기타 벨트와 같이 구부림 운동에서의 기계적인 힘에 의한 部材의 국부적 파괴나 飛散에서도 일어나고, 베어링유의 국부적 온도상승에 의한 증기 또는 호흡기중의 증기의 응축에 의한 물방울이 생성된 형상에서도 일어난다.

더구나 입자의 발생이 시간적으로 macro하게 보면 비록 작을지라도 순간의 발생량이 많은 경우도 있어 단적으로 큰 공간을 장시간 Scale로 monitor하는 것은 무의미한 것도 있다.

● 液體象態에서의 오염원

初純水를 다루는 시스템의 배관등에서 침식은 반드시 직접적인 입자의 생성원은 아닌데, 그러나 침식에 의해서 용해된 물질은 거의 건조공정에서 析出되므로 결국 오염입자원으로서 보는편이 좋다고 생각된다. 불소 고분자 배관의 오랜시간의 초 순수에서의 浸積실험의 결과가 보고되고 있다.

이 보고에 따르면 22주간, 100℃의 18MΩ급의 초순수의 경우 PVDF(Polyvinylidene fluoride) 및 ECTFE(Ethylene-Chlorotrifluoroethylene)는 화학적으로 침식되고, PFA(Perfluoroalkoxy fluoro carbon resin)은 침식되지 않는 것이 나타나고 있다. 침적시간이 9주간이어도 같은 결과라고 말한다. 이와같이 액체계통의 장치, 배관의 재질선정은 아주 중요한 문제인데, 그러나 이 문제는 아주작게 계통적으로 고려해야 할 필요가 있다.

즉, 침식 또는 입자생성은 최종제품의 단계에

서는 평가되어야하고, 그때까지의 단계, 즉 樹脂 Mark로부터 가공업자 그리고 설비업자는 경유해서 사용자의 손에 인도한이상 이들사이의 상호간의 계통인 관리 체제를 뺀다는 것은 단순히 평가하고 있지 않다고 생각된다.

ASTM F1 Electronic Committee의 Process오염의 소위원회에서는 이와 같은 문제에 대해서 표준화를 검토하고 있으며, 우리나라에서도 학회나 연구조합등에서 검토되고 있는 실정이다.

● 입자에 의한 오염의 문제

따라서 입자에 의한 오염의 문제는 여러각도에서 고찰해야 한다. 그러나 그때 무수하게 많은 영향인자를 정리통합하면 고찰해 오는 순서는 확실하게 되는 것이다.

예를들면 발진과 세척은 같은 기반위에서 논란되어야 할 것이고, 입자의 침착과 침착방지는 동시에 이론적으로 조화되어 성립해야 한다. 또 Trouble Shooting이라는 입장에서는, 예를들면 입경별 화학성분의 동일함의 확인검토에서 문제점이 파악될 수 있다. 靜電現象도 Colloid Chemistry등에서 충분히 접근이 가능하다. 표준화에 대해서는 입자, 물체를 엄밀히 규정하는 것이 가능하게 된다.

입자에 의한 오염은 종합적인 입장에서 Control되어야 하는데, 우선 그 접근방법의 필요를 잘 확인한 뒤에 계통적으로 성립시키기까지의 단계로 우선 필요한 것으로 본다.

반도체 Process에 있어서 입자오염방지의 기술은 Bio Technology 그 외의 분야에도 그대로 적용된다고 생각되므로, 앞으로 좀더 적극적으로 산·학·연의 모임에서 이들 방법론의 토론이 있어야 될 것으로 본다.

이 글은 지난 5월 22일 공기조화 냉동공학회가 주최한 「제 2회 Clean Room 감습회」에서 「최근의 화제와 금후의 연구과제」 로 발표된 것이다. (편집자 註)